	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
	FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ ELEKTRONIKY FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION DEPARTMENT OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ELECTRICAL ENGINEERING

POČÍTAČOVÁ PODPORA NÁVRHU NAPÁJECÍCH ZDROJŮ

PROGRAMS FOR SUPPORT OF POWER SOURCES DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Karásek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Josef Karásek
Ročník: 3

ID: 106528
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Počítačová podpora návrhu napájecích zdrojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principy spjitých i spínaných napájecích zdrojů. Zaměřte se na tyto základní bloky: a) transformátor, usměrňovač a filtr pro zdroje pracující se síťovým kmitočtem, b) blokující a propustný impulsní měnič s nebo bez galvanického oddělení. Zjistěte sledované parametry základních součástek ovlivňujících vlastnosti zdrojů.

V Matlabu nebo C++ navrhnete a ověříte programy: a) pro výpočty vstupní části napájecího zdroje klasické spojitě konstrukce (transformátor, usměrňovač, filtr) b) pro výpočty parametrů spínače, diody, filtru LC, u propustného a blokujícího spínaného měniče c) pro návrh parametrů transformátoru blokujícího měniče i propustného jedno- i dvoučinného měniče s podporou výběru z běžných typů jader.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I, II, III. Praha: BEN – technická literatura, 1999.

[2] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. Napájení elektronických zařízení. Brno: FEI VUT v Brně. 1999. ISBN 80-214-1090-6.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

VLOŽIT PRVNÍ LIST LICENČNÍ SMLOUVY

(neplatí pro Semestrální projekt)

VLOŽIT DRUHÝ LIST LICENČNÍ SMLOUVY

(neplatí pro Semestrální projekt)

ABSTRAKT

Má bakalářská práce se zabývá popisem lineárních a spínaných napájecích zdrojů a návrhem parametrů jejich konstrukčních prvků. Cílem mé práce je nastudovat teorii lineárních zdrojů a zdrojů spínaných (konkrétně blokujícího a jednočinného propustného měniče) a poté vytvořit program pro podporu návrhu parametrů jejich klíčových obvodových prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spínaný zdroj, spojitý zdroj, transformátor, usměrňovač, blokující měnič, propustný jednočinný měnič

ABSTRACT

My bachelor's thesis put I mind to description linear power supply and switched power supply and proposal their component. Produce my project is work up theory forward, flyback converter, linear power supply and after make an example program which calculate value of particular components.

KEYWORDS

Switched power supply, linear power supply, transformer, rectifier, forward converter, flyback converter

KARÁSEK, J. *Počítačová podpora návrhu napájecích zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav teoretické a experimentální elektroniky, 2010. 54 s., 1 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Počítačová podpora návrhu napájecích zdrojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a~jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miloslavu Steinbauerovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	xi
Seznam tabulek	xii
Úvod	13
1 Spojité napájecí zdroje	14
1.1 Transformátor	14
1.1.1 Princip činnosti transformátoru.....	14
1.1.2 Ztráty v transformátoru.....	14
1.1.3 Hlavní součásti transformátoru	16
1.1.4 Návrh síťového transformátoru.....	16
1.2 Usměrňovače	18
1.2.1 Návrh jednocestného usměrňovače	18
1.2.2 Návrh dvoucestného usměrňovače.....	19
1.2.3 Návrh můstkového usměrňovače	20
2 Spínané napájecí zdroje	21
2.1 Rozdělení spínaných zdrojů.....	22
2.2 Měniče bez transformátoru	22
2.2.1 Snižující měnič (step-down)	23
2.2.2 Invertující měnič (buck-boost).....	26
2.3 Měniče s transformátorem	28
2.3.1 Blokující měnič	28
2.3.2 Propustný měnič.....	33
2.3.3 Dvojčinný můstkový propustný měnič.....	38
3 POPIS PROGRAMU	41
3.1 Blokující měnič	41
3.2 Propustný měnič.....	43
3.3 Databáze jader.....	46
3.4 Usměrňovače	47
4 Závěr	49

Literatura	50
Seznam symbolů, veličin a zkratk	51
Seznam příloh	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1.1 Hysterezní křivka.....	15
Obr. 1.2.1 Schéma zapojení jednocestného usměrňovače.....	18
Obr. 1.2.2 Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače.....	19
Obr. 1.2.3 Schéma zapojení můstkového usměrňovače	20
Obr. 1.2.1 Blokové schéma spínaného zdroje [3]	21
Obr. 2.2.1 Schéma snižujícího měniče	23
Obr. 2.2.2 Časové průběhy proudu a napětí na indukčnosti L_1	23
Obr. 2.2.3 Schéma invertujícího měniče	26
Obr. 2.2.4 Průběhy napětí a proudů invertujícího měniče.....	27
Obr. 2.3.1 Schéma blokujícího měniče	29
Obr. 2.3.2 Průběhy veličin blokujícího měniče	30
Obr. 2.3.3 Schéma propustného měniče [1].....	34
Obr. 2.3.4 Průběhy veličin na propustném měniči.....	34
Obr. 2.3.5 Schéma zapojení dvojčinného můstkového měniče	38
Obr. 2.3.6 Časové průběhy veličin na dvojčinném můstkovém měniči.....	40
Obr. 2.3.1 Hlavní okno programu	41
Obr. 3.1.1 Okno návrhu blokujícího měniče	42
Obr. 3.1.2 Průběhy proudu blokujícího měniče.....	43
Obr. 3.2.1 Okno návrhu propustného měniče.....	45
Obr. 3.2.2 Průběhy proudu propustného měniče	46
Obr. 3.3.1 Databáze jader	47
Obr. 3.4.1 Okno návrhu jednocestného usměrňovače.....	47
Obr. 3.4.2 Okno návrhu dvoucestného usměrňovače.....	48
Obr. 3.4.3 Okno návrhu můstkového usměrňovače	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Přehled výkonů a využití spínaných zdrojů [6].....	22
---	----

ÚVOD

Napájecí zdroj je součástí naprosté většiny elektronických zařízení, kterému dodává energii ve formě nejčastěji stejnosměrného proudu. Podle konstrukce rozlišujeme zdroje lineární a modernější spínané.

Lineární napájecí zdroje jsou historicky starší, dnes jsou prakticky vytlačeny spínanými zdroji. Nevýhodou lineárních zdrojů je potřeba velkého transformátoru, velkého chladiče a velkých kondenzátorů, což se promítne v ceně i jejich velikosti. Jedinou výhodou lineárních zdrojů je jejich lepší dynamická odezva a z principu menší velikost rušivých napětí na výstupu. Lineární zdroje se tak dnes používají zejména k napájení laboratorních zařízení, kde jsou tyto výhody rozhodující.

Ve většině elektronických zařízení se v současnosti používají spínané napájecí zdroje, které se vyznačují menší velikostí a hmotností, vyšší účinností a s ohledem na nízkou cenu elektronických součástek ve většině případů i nižší cenou. Základní rozdělení spínaných zdrojů je na zdroje napájené střídavým napětím, nejčastěji z rozvodné sítě 230 V 50 Hz (AC-DC měniče) a zdroje napájené stejnosměrným napětím, např. z akumulátoru nebo nadřazeného měniče (DC-DC měniče). Spínané zdroje pracují na vysokých kmitočtech řádu 10 kHz až 1 MHz, proto nepotřebují tak velké transformátory a filtrační kondenzátory jako zdroje pracující s kmitočtem sítě 50 Hz. Spínané zdroje mohou dosahovat účinnosti přes 95 %.

1 SPOJITÉ NAPÁJECÍ ZDROJE

Spojité zdroje se skládají z několika základních bloků: síťový transformátor, usměrňovač a filtr, regulační prvek. V této kapitole je popsána jejich funkce a návrh.

1.1 Transformátor

Transformátor je měnič, který je schopen přenášet elektrickou energii mezi primárním a sekundárním vinutím. Využívá se nejen pro přeměnu střídavého napětí na stejnosměrné, ale také pro galvanické oddělení zdroje od napájecího obvodu. Pro spojitě napájecí zdroje se používá síťový transformátor, který je napájen síťovým napětím 230 V / 50 Hz (400 V / 50 Hz).

Nevýhodou spojitých zdrojů je jejich velikost, hmotnost zařízení, velikosti transformátoru a malá účinnost. Výhodou je jednoduchá konstrukce.

1.1.1 Princip činnosti transformátoru

Střídavý proud v primárním vinutí vytváří v magnetickém obvodu magnetický indukční tok ϕ . Při časové změně magnetického indukčního toku dochází k indukování napětí v sekundárním vinutí. V primárním a sekundárním vinutí je napětí, které můžeme určit podle zákona elektromagnetické indukce: při časové změně magnetického toku se indukuje v jednom závitě napětí. Velikost tohoto napětí je úměrná počtu závitů vinutí. Níže jsou uvedeny vzorce pro ideální transformátor, zanedbávající ztráty a rozptylové toky [1].

$$u_1(t) = N_1 \frac{d\phi(t)}{dt}, \quad (1.1)$$

$$u_2(t) = N_2 \frac{d\phi(t)}{dt}. \quad (1.2)$$

Pomocí vztahů (1.1) a (1.2) lze transformační poměr vypočítat podle vztahu:

$$\frac{u_2(t)}{N_2} = \frac{u_1(t)}{N_1}. \quad (1.3)$$

1.1.2 Ztráty v transformátoru

Jouleovy (tepelné) ztráty ve vinutí

Vodiče ve vinutí transformátoru mají nenulovou hodnotu odporu, který způsobuje úbytek napětí. Tyto ztráty se projeví zahříváním vodičů. Při jeho návrhu se na ně musí brát ohled, aby byl transformátor dostatečně chlazen. Výkon přenášený transformátorem je omezený proudovou hustotou materiálu vedení. Průřez vodičů musíme navrhnout

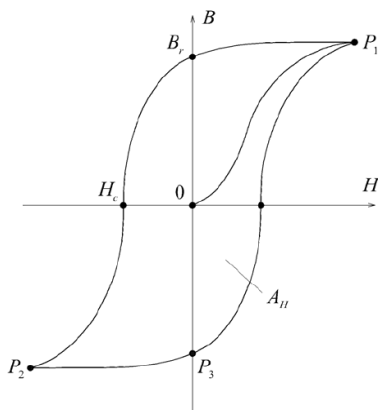
úměrný proudu, aby byla dodržena proudová hustota. Při překročení kritické hranice dochází k přehřívání vinutí a může dojít k porušení izolace. Pokud chceme zvýšit přenášený výkon, je nutno zvýšit průřez vodiče a to je podmíněno zvětšením plochy okna jádra transformátoru. Jouleovy ztráty jsou úměrné kvadrátu efektivní hodnoty procházejícího proudu. Lze je vypočítat sečtením výkonu v sekundárním a primárním vinutí [1]:

$$P_R = R_P I_{ef1}^2 + R_S I_{ef2}^2. \quad (1.4)$$

Hysterezní ztráty v jádře

Hysterezní ztráty vznikají při přemagnetování jádra transformátoru. Hysterezní křivka (viz Obr. 1.1.1) znázorňuje magnetizaci a demagnetizaci jádra. Plocha této uzavřené křivky určuje, kolik energie je potřeba k přemagnetování jádra. Tato energie je úměrná ploše křivky. Z definice můžeme určit jednotku J/m^3 [1]. Ztráty jsou závislé na materiálu jádra a úměrné kmitočtu. Vypočteme je pomocí vztahu:

$$P_h = fV \oint H dB. \quad (1.5)$$



Obr. 1.1.1 Hysterezní křivka

Ztráty vířivými proudy

Ztráty vířivými proudy vznikají při indukování napětí v jádře transformátoru. Vířivé proudy jsou úměrné kvadrátu kmitočtu a nepřímo úměrné odporu materiálu jádra. Pokud chceme omezit vířivé proudy, musíme použít jádro s malou vodivostí, například sestavené ze vzájemně izolovaných plechů nebo jádra železoprachová s velkým měrným odporem.

Velikost těchto ztrát můžeme vypočítat ze vzorce:

$$P_V = \left(\frac{2\pi f B_{\max} S}{M} \right)^2 \frac{1}{R_j} . \quad (1.6)$$

1.1.3 Hlavní součásti transformátoru

Jádro (magnetický obvod)

Jádra síťových zdrojů jsou tvořena izolovanými ocelovými plechy různé tloušťky. U jader transformátorů pro spínané zdroje se používají např. feritové nebo železoprachové materiály. Jádra mohou být různé velikosti a různého tvaru nejznámější jsou: EI, C, Q, toroidní jádro atd.

Někteří výrobci těchto materiálů: Iskra, Siemens, Philips, Sagem, Pramet atd.

Vinutí

Je tvořeno izolovaným vodičem různého průměru, tvaru a materiálu. Tento vodič je navinut na jádro transformátoru. Nejčastějším materiálem pro výrobu vinutí je měď. Pokud použijeme nucené chlazení vinutí, můžeme počítat z větší proudovou hustotou. Volba proudové hustoty je mimo jiné závislá také na tvaru a typu transformátoru. Pokud máme více vinutí, musíme ve vinutí, které je blíže k jádru, zohlednit proudovou hustotu z důvodu odvodu tepla. Při návrhu se volí nejčastěji proudová hustota ve vodiči 2,5 A/mm².

1.1.4 Návrh síťového transformátoru

V příloze jsou uvedeny parametry vodičů pro návrh síťového transformátoru. Transformátor můžeme navrhnout podle následujícího postupu:

Výstupní výkon:

$$P = U_2 I_2 . \quad (1.7)$$

Dále vypočteme vstupní výkon:

$$P_{vst} = P_{výst} \cdot 100 / \eta . \quad (1.8)$$

Průřez středního sloupku vypočteme podle:

$$S_{ef} = 10^4 \cdot \sqrt{P_{vst}} / B_m . \quad (1.9)$$

kde B_m je magnetická indukce udávaná výrobcem.

Pokud bude střední sloupek jádra ve tvaru čtverce, je délka strany:

$$a = \sqrt{S_{ef}} . \quad (1.10)$$

Dále určíme koeficient N_j , vyjadřující počet závitů na 1 V:

$$N_j = 1 / (4,44 f B_m S_{ef}) . \quad (1.11)$$

Z koeficientu N_j vypočteme počet závitů v primárním a sekundárním vinutí. Pro krytí ztrát uберeme 3% v primárního vinutí a přidáme 3% v sekundárním vinutí. Potom můžeme napsat:

$$N_1 = N_j \cdot U_1 \cdot 0,97 , \quad (1.12)$$

$$N_2 = N_j \cdot U_2 \cdot 1,03 . \quad (1.13)$$

Dále vypočteme indukčnost primárního vinutí:

$$L_1 = \Lambda N_1^2 . \quad (1.14)$$

Pokud magnetická vodivost není uvedena, je možno ji vypočítat:

$$\Lambda = \mu_r \mu_0 \frac{S}{l} . \quad (1.15)$$

Hodnota efektivního proudu v primárním vinutí je určena přepočteným proudem sekundárního vinutí a magnetovacím proudem:

$$I_1 = \sqrt{I_\mu + \left(I_2 \frac{N_2}{N_1} \right)^2} , \quad (1.16)$$

$$I_{\mu ef} = \frac{U_{1ef}}{\omega L_1} . \quad (1.17)$$

Vypočteme průměr vodičů primárního a sekundárního vinutí:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4I_1}{J\pi}} , \quad (1.18)$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4I_2}{J\pi}} . \quad (1.19)$$

Pak plochy průřezu obou vinutí vypočteme podle:

$$S_{L1} = d^2 N_1, \quad (1.20)$$

$$S_{L2} = d^2 N_2. \quad (1.21)$$

Je třeba ověřit, zda se vinutí vejde do okénka jádra, včetně uvažované rezervy na proklady, případně je třeba zvolit jiné jádro.

1.2 Usměrňovače

Vhodným uspořádáním diod v obvodu je možno měnit střídavé napětí na napětí stejnosměrné. Usměrněné napětí má pulzující charakter. Pro snížení střídavé složky výstupního napětí se usměrňovače doplňují filtrem typu dolní propusti (C, LC).

Usměrňovače lze dělit:

Podle počtu fází:

- jednofázové
- třífázové

Podle průběhu usměrněného napětí:

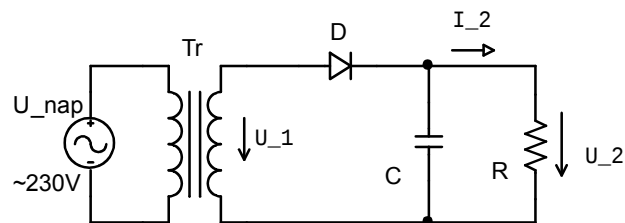
- jednopulsní
- dvoupulsní
- trojpulsní
- šestipulsní

Podle způsobu řízení:

- neřízené
- polořízené
- plně řízené

1.2.1 Návrh jednocestného usměrňovače

Schéma zapojení je uvedeno na obrázku (viz Obr. 1.2.1) níže. Usměrňovač obsahuje pouze jednu usměrňovací diodu zapojenou do série se zdrojem.



Obr. 1.2.1 Schéma zapojení jednocestného usměrňovače

Dimenzování diody

Maximální hodnota proudu diodou je dána výstupním proudem:

$$I_{D\max} = I_{2\max} . \quad (1.22)$$

Na diodě v závěrném směru se objeví dvojnásobné maximální vstupní napětí:

$$U_{BR} = 2U_{1\max} . \quad (1.23)$$

Při návrhu je třeba zohlednit úbytek napětí U_D na diodě:

$$U_{2\max} = U_{1\max} - U_D . \quad (1.24)$$

Filtr je tvořen vyhlazovací kapacitou, která je schopna částečně vyhladit pulzující napětí za usměrňovačem. Vyhlazovací kapacitu lze přibližně určit vztahem [3] :

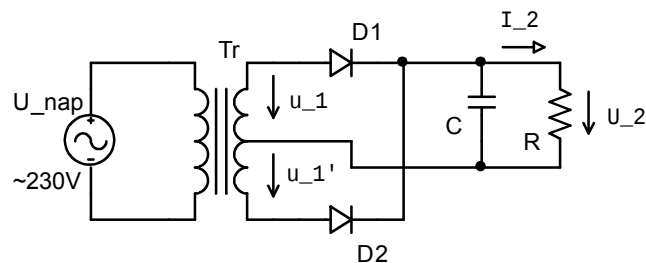
$$C = \frac{600I_2}{pU_2} . \quad (1.25)$$

Činitel zvlnění:

$$p_{zv} = \frac{U_{zv}}{U_2} 100 . \quad (1.26)$$

1.2.2 Návrh dvoucestného usměrňovače

Dvoucestný usměrňovač je tvořen dvěma diodami a transformátorem s vyvedeným středem (viz Obr. 1.2.2). Diody jsou namáhány polovičním proudem I_2 .



Obr. 1.2.2 Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače

Dimenzování diod

Proud zátěže se rozdělí rovnoměrně mezi diody D_1 a D_2 :

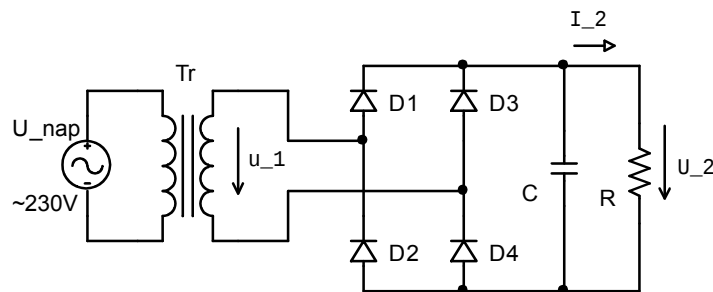
$$I_{D_{\max}} = \frac{I_2}{2}. \quad (1.27)$$

Hodnota závěrného napětí a úbytku na diodách je shodná s jednocestným usměrňovačem. Filtrační kondenzátor má poloviční hodnotu oproti předchozímu jednocestnému usměrňovači.

1.2.3 Návrh můstkového usměrňovače

Můstkový usměrňovač (Graetzovo zapojení) nepotřebuje transformátor s vyvedeným středem. Je tvořen čtyřmi diodami zapojenými do můstku (viz Obr. 1.2.3). Má shodné průběhy napětí jako dvoucestný usměrňovač. Návrh je totožný s dvoucestným zapojením. Liší se pouze úbytkem napětí na diodách, protože obvod je vždy uzavřen přes dvě diody v sérii:

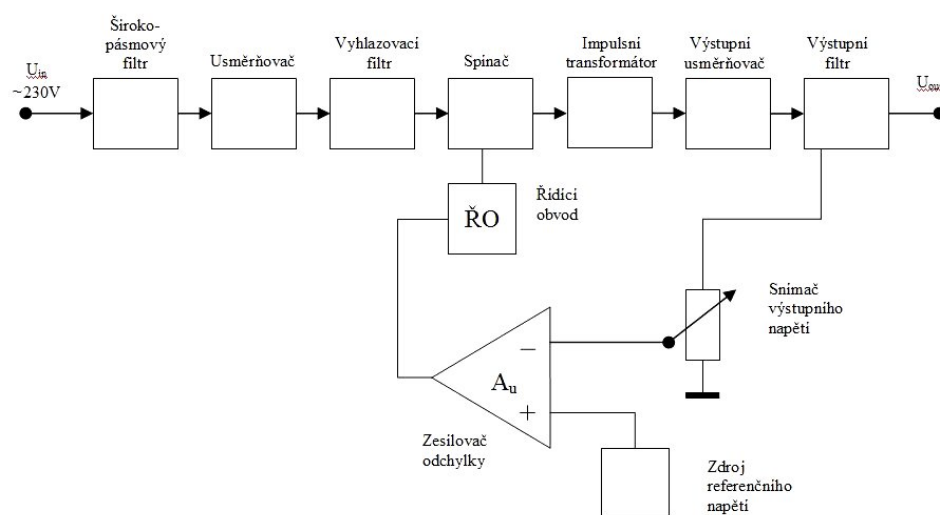
$$U_1 = U_2 + 2U_D. \quad (1.28)$$



Obr. 1.2.3 Schéma zapojení můstkového usměrňovače

2 SPÍNANÉ NAPÁJECÍ ZDROJE

Pro napájení současných moderních zařízení s vyšší spotřebou proudu, jsou nejvhodnější zmíněné spínané zdroje. Blokové schéma (viz Obr. 1.2.1) zobrazuje strukturu spínaných zdrojů. Tyto zdroje mají větší účinnost oproti lineárním zdrojům. Pro jejich správnou funkci je třeba použít cívky a kvalitní kondenzátory s nízkými parazitními parametry. Spínače pracují na frekvenci vyšších než 20 kHz. V dnešní době se tyto spínací frekvence pohybují v řádu jednotek MHz. Vysoká frekvence kladé nároky na jednotlivé prvky spínacího zdroje (spínač, indukčnost, transformátor, dioda, usměrňovač ...).



Obr. 1.2.1 Blokové schéma spínaného zdroje [3]

Spínané zdroje se nejčastěji používají u zařízení, které vyžadují vyšší účinnost. Např. u výpočetní techniky. Pro nižší výkony do 100 W se používají jednočinné měniče, pro vyšší výkony je vhodné použít měniče v dvojčinném zapojení.

Hlavní výhodou spínaných zdrojů je jejich velká účinnost a malé rozměry.

Nevýhodou je vyšší cena (při vysokém kmitočtu spínání se mění parametry součástek což je nepřijatelné, proto musíme vybírat kvalitní součástky). Další nevýhodou je konstrukční náročnost zapojení.

S vývojem spínaných zdrojů dochází k postupnému ústupu spojitých zdrojů.

2.1 Rozdělení spínaných zdrojů

Měniče bez transformátoru:

- snižující (step-down)
- zvyšující (step-up)
- invertující (buck-boost)

Měniče s transformátorem:

- propustný měnič (forward converter)
- blokový měnič (flyback converter)

Dvojčinné měniče s transformátorem:

- polomost
- plný most
- měnič push-pull

Typ zapojení	Rozsah výkonů	Využití
DC/DC měniče	do 5 W	vytváří hodnotu napětí odlišnou od napětí vstupního – pomocná napájení
Blokový měnič	do 20 W	Vytváří střídavé napětí z napětí stejnosměrného
Akumulující měniče	do 50 W	Jednoduché spínané zdroje. Jsou napájené síťovým napětím.
Propustné měniče	do 100 W	Jednoduché spínané zdroje. Jsou napájené síťovým napětím.
Polomost	do 200 W	Používají se u výpočetní techniky
Plný most	velké výkony	Řízení motorů

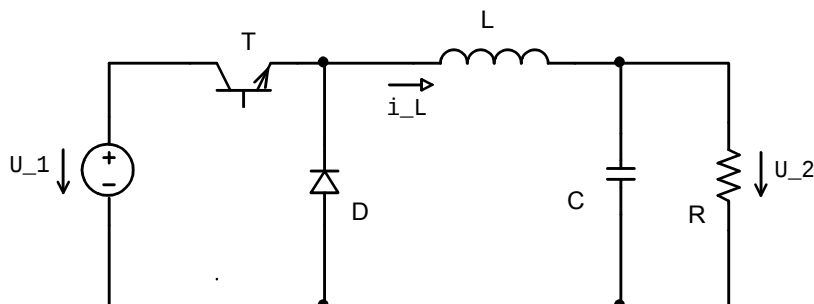
Tab. 2.1 Přehled výkonů a využití spínaných zdrojů [6]

2.2 Měniče bez transformátoru

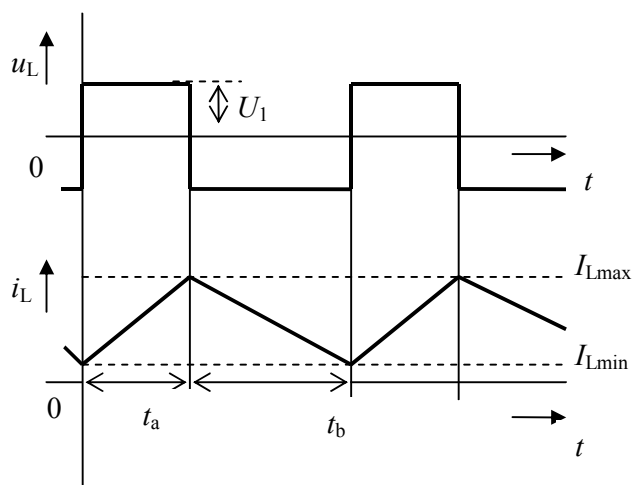
Tyto měniče jsou schopny měnit vstupní stejnosměrné napětí U_1 na jiné stejnosměrné napětí U_2 . Měnič bez transformátoru neumožňuje galvanické oddělení vstupu od výstupu. V základním zapojení se skládá ze spínače (např. tranzistoru), indukčnosti, kondenzátoru a diody.

2.2.1 Snižující měnič (step-down)

Tento měnič má dva pracovní intervaly t_a a t_b (viz Obr. 2.2.1). Po dobu intervalu t_a , kdy je tranzistor otevřený, proud protéká od zdroje k zátěži přes R_1 a L_1 (viz Obr. 2.2.2). Interval t_b udává dobu po kterou je tranzistor zavřený a proud do zátěže se uzavírá přes diodu D_1 . Výstupní napětí snižujícího měniče má stejnou polaritu jako napětí vstupní. Tento měnič má velkou účinnost a je konstrukčně jednoduchý. Využívá pouze jednu tlumivku.



Obr. 2.2.1 Schéma snižujícího měniče



Obr. 2.2.2 Časové průběhy proudu a napětí na indukčnosti L_1

Interval t_a

Pokud je tranzistor otevřen, je na indukčnosti napětí U_{La} :

$$U_{La} = U_1 - U_2. \quad (2.1)$$

Po dobu intervalu t_a cívkou protéká proud, díky kterému dochází k nahromadění energie v cívce. Proudový nárůst Δi_{La} lze vypočítat podle vzorce [3]:

$$\Delta i_{La} = \frac{U_1 - U_2}{L} t_a. \quad (2.2)$$

Interval t_b

V tomto intervalu je spínač tranzistor T rozepnut. Energie naindukovaná v cívce nemůže zaniknout skokem. Tlumivka má snahu udržet procházející proud, který se uzavírá přes rekuperační diodu D_1 .

Pokles proudu v intervalu t_b :

$$U_{Lb} = -U_2, \quad (2.3)$$

$$\Delta i_{Lb} = \frac{U_{Lb}}{L} t_b. \quad (2.4)$$

Z průběhu proudu na indukčnosti (viz Obr. 2.2.2) je patrné, že proud na konci intervalu t_a je roven proudu na začátku intervalu t_b . Možno tedy psát:

$$\Delta i_{La} = \Delta i_{Lb}. \quad (2.5)$$

Po dosazení:

$$\frac{U_1 - U_2}{L} t_a = \frac{-U_2}{L} t_b. \quad (2.6)$$

Činitel plnění lze vypočítat:

$$\delta = \frac{t_a}{t_a + t_b}. \quad (2.7)$$

Z předchozí rovnice si vyjádříme výstupní napětí:

$$U_2 = U_1 \delta. \quad (2.8)$$

Dimenzování polovodičů

Z předchozích úvah lze odvodit parametry polovodičů.

Maximální proud tranzistoru:

$$I_{C \max} = I_2 . \quad (2.9)$$

Střední proud tranzistoru:

$$I_{Cstř} = I_2 \delta . \quad (2.10)$$

Maximální proud diodou určíme ze vztahu:

$$I_{D \max} = I_2 . \quad (2.11)$$

Střední proud diodou:

$$I_{Dstř} = I_2 (1 - \delta) . \quad (2.12)$$

Efektivní proud diodou:

$$I_{Def} = I_2 \sqrt{1 - \delta} . \quad (2.13)$$

Návrh filtračního kondenzátoru

Hodnotu filtračního kondenzátoru lze přibližně určit [1]:

$$C = \frac{U_1 (1 - \delta) \delta}{8 L f^2 \Delta_{U_2}} . \quad (2.14)$$

Zvlnění napětí lze vypočítat podle vzorce[1]:

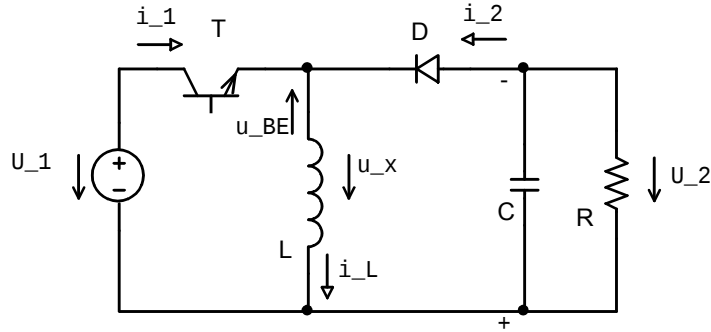
$$\Delta_{U_2} = \frac{\Delta_I}{8C} T . \quad (2.15)$$

Kontrola rezonančního kmitočtu obvodu LC. Musí splňovat podmínku:

$$C \gg \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} . \quad (2.16)$$

2.2.2 Invertující měnič (buck-boost)

V tomto zapojení je indukčnost L připojena paralelně k zátěži a spínač S je zapojen do série. V invertujícím měniči dochází ke změně polarity výstupního napětí oproti vstupnímu napětí. Na následujícím obrázku (viz Obr. 2.2.3) je uvedeno schéma zapojení invertujícího měniče.



Obr. 2.2.3 Schéma invertujícího měniče

Interval t_a

Při sepnutém tranzistoru T je na cívku přivedeno vstupní napětí U_1 . Na cívce lineárně narůstá proud díky konstantnímu napětí (viz Obr. 2.2.4). Dioda D je tedy zavřená.

Proud v cívce můžeme vyjádřit vztahem[3]:

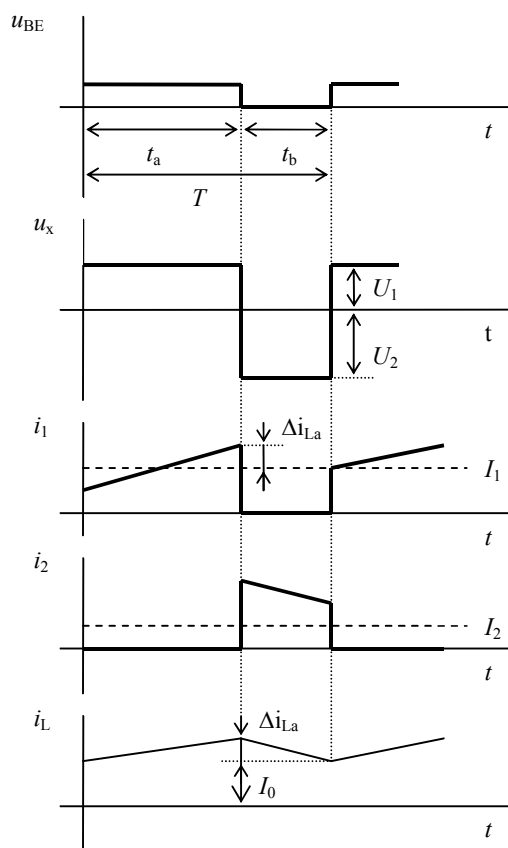
$$i_L = \int_0^{t_a} u_L dt + I_0 . \quad (2.17)$$

Proudový nárůst na konci intervalu t_a lze určit pomocí vztahu:

$$\Delta i_{La} = \frac{U_1}{L} t_a . \quad (2.18)$$

Maximální proud je pak vyjádřen vztahem:

$$I_{L_{\max}} = I_0 + \Delta i_{La} . \quad (2.19)$$



Obr. 2.2.4 Průběhy napětí a proudů invertujícího měniče

Interval t_b

Uzavřením tranzistoru T , dojde ke změně proudu cívky, který se uzavírá přes zátěž a diodu D . Pokud je dioda otevřena objeví se na výstupu záporné napětí a proud začne lineárně klesat [1].

Velikost změny proudu v intervalu t_b vypočítat:

$$\Delta i_{Lb} = \frac{-U_2}{L} t_b. \quad (2.20)$$

Změna proudu v intervalu t_a a t_b je stejná:

$$\Delta i_{Lb} = \Delta i_{La}. \quad (2.21)$$

Po dosazení vzorců (2.18) a (2.20) do vzorce (2.21):

$$\frac{U_2}{L} t_b = \frac{-U_1}{L} t_a. \quad (2.22)$$

Úpravou dostaneme vzorec pro výpočet výstupního napětí:

$$U_2 = -U_1 \frac{t_a}{t_b}. \quad (2.23)$$

Dimenzování polovodičů[1]

Maximální proud protékající tranzistorem je roven proudu na vstupu měniče:

$$I_{C\max} = I_1. \quad (2.24)$$

Pak střední proud tranzistoru je:

$$I_{Cstř} = I_1 \delta, \quad (2.25)$$

a efektivní proud tranzistorem:

$$I_{Cef} = I_1 \sqrt{\delta}. \quad (2.26)$$

Hodnota maximálního proudu protékající diodou:

$$I_{D\max} = I_1. \quad (2.27)$$

Střední hodnota proudu:

$$I_{Dstř} = I_1 (1 - \delta). \quad (2.28)$$

Efektivní hodnota proudu:

$$I_{Def} = I_1 \sqrt{1 - \delta}. \quad (2.29)$$

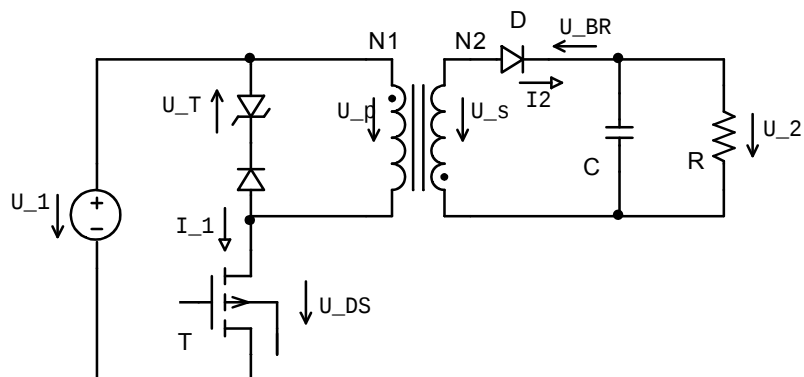
2.3 Měniče s transformátorem

Transformátor plní funkci galvanického oddělení a je možné dosáhnout vyšších transformačních převodů U/U a I/I .

2.3.1 Blokující měnič

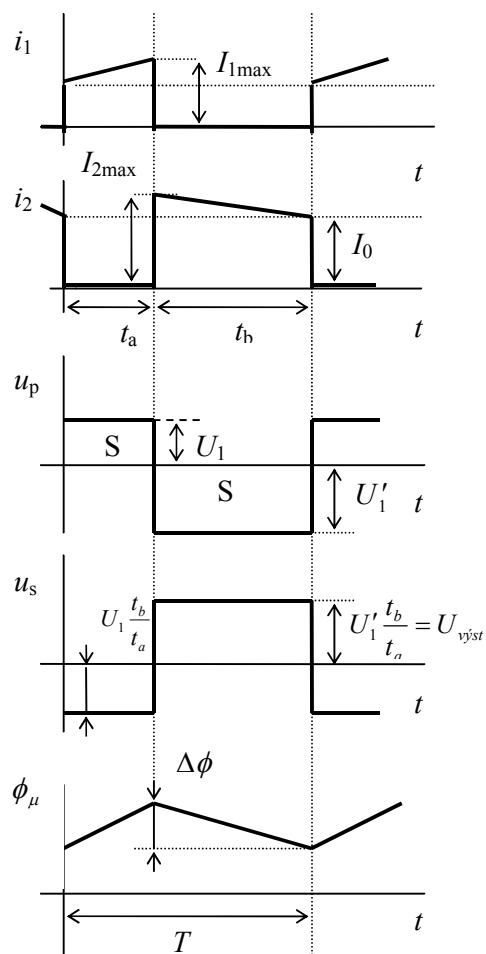
Obdobou invertujícího měniče je měnič blokující (viz Obr. 2.3.1). Blokující měnič je tvořen impulsním transformátorem, tranzistorem diodou a kondenzátorem. Transformátor přenáší na výstup napětí obou polarit (na rozdíl od invertujícího měniče, který přenáší ze vstupu na výstup napětí opačné polarity) a zároveň plní funkci galvanického oddělení výstupu od vstupu. V podstatě se nejedná o trafo ale o cívku. Vždy pracuje pouze jedno vinutí.

Účinnost blokujícího měniče se pohybuje okolo 80%, do výkonů 50W.



Obr. 2.3.1 Schéma blokujícího měniče

Tranzistor je u blokujícího měniče umístěn v primární větvi. Pokud je tranzistor otevřen, prochází proud primárním vinutím. Dochází k akumulování energie do L_1 po dobu t_a . Druhá fáze blokujícího měniče je při rozepnutém spínači, kdy se nahromaděná energie po dobu intervalu t_b přenáší přes sekundární vinutí L_2 na výstup měniče. Časové průběhy napětí a proudů jsou znázorněny na obrázku (viz Obr. 2.3.2).



Obr. 2.3.2 Průběhy veličin v síťovém měniči

Strmost proudu v primárním a sekundárním vinutí[1]:

$$U_{1\min} = L_P \frac{I_{1\max}}{\delta_{\max} T}, \quad (2.30)$$

$$U_2 = L_S \frac{I_{2\max}}{(1 - \delta_{\max}) T}. \quad (2.31)$$

Indukčnosti cívek jsou[1]:

$$L_P = A_L N_P^2, \quad (2.32)$$

$$L_S = A_L N_S^2. \quad (2.33)$$

Energie akumulovaná během jednoho kmitu v primárním vinutí je rovna energii v sekundárním vinutí:

$$0,5L_P I_{1\max}^2 = 0,5L_S I_{2\max}^2 = W. \quad (2.34)$$

Úpravou dostaneme:

$$L_P I_{1\max}^2 = L_S I_{2\max}^2 = W. \quad (2.35)$$

Dosazením ze vztahu (2.30) a (2.31) lze získat:

$$U_{1\min} \delta_{\max} T I_{1\max} = U_2 (1 - \delta_{\max}) T I_{2\max}. \quad (2.36)$$

Výkon na vstupu je :

$$P = U_2 (1 - \delta_{\max}) \frac{I_{2\max}}{2}. \quad (2.37)$$

Po úpravě:

$$I_{2\max} = \frac{2P}{U_2 (1 - \delta_{\max})}. \quad (2.38)$$

Dosazením do (2.36) lze dostat:

$$U_{1\min} \delta_{\max} T I_{1\max} = U_2 (1 - \delta_{\max}) T \frac{2P}{U_2 (1 - \delta_{\max})}. \quad (2.39)$$

Magnetické napětí v obvodu:

$$H_{\max} L_e = N_P I_{1\max}. \quad (2.40)$$

Dosazením (2.32) dostaneme:

$$L_P = A_L \left(\frac{H_{\max} L_e}{I_{1\max}} \right)^2. \quad (2.41)$$

Do předchozího vzorce dosadíme $I_{1\max}$ ze vzorce (2.38) a dostaneme:

$$L_P = A_L \left(\frac{\delta_{\max} U_{1\min} H_{\max} L_e}{2P} \right)^2. \quad (2.42)$$

Po srovnání s (2.30) vyjde:

$$A_L \left(\frac{H_{\max} L_e}{I_{1\max}} \right) = \frac{U_{1\min} \delta_{\max} T}{I_{1\max}}. \quad (2.43)$$

Po úpravě a dosazení z (2.38) dostaneme:

$$T = A_L \frac{(H_{\max} L_e)^2}{2P}. \quad (2.44)$$

Vyjádříme minimální kmitočet měniče:

$$f_{\min} = \frac{2P}{A_L (H_{\max} L_e)^2}. \quad (2.45)$$

Maximální proud sekundárním vinutím:

$$I_{1\max} = \frac{2P}{\delta_{\max} U_{1\min}}. \quad (2.46)$$

Počet závitů v primárním vinutí:

$$N_P = \frac{H_{\max} L_e}{I_{1\max}}. \quad (2.47)$$

Počet závitů v sekundárním vinutí:

$$N_S = \frac{H_{\max} L_e}{I_{2\max}}. \quad (2.48)$$

Minimální potřebné závěrné napětí transilu:

$$U_T = \frac{N_P}{N_S} U_2. \quad (2.49)$$

Minimální potřebné napětí diody:

$$U_{BR} = \frac{N_S}{N_P} U_{1\max} + U_2. \quad (2.50)$$

Minimální závěrné napětí tranzistoru:

$$U_{DS} = U_{1\max} + U_T. \quad (2.51)$$

Pro požadované zvlnění odvodíme potřebnou kapacitu:

$$C = \frac{P}{U_2 f U_{ZV}}. \quad (2.52)$$

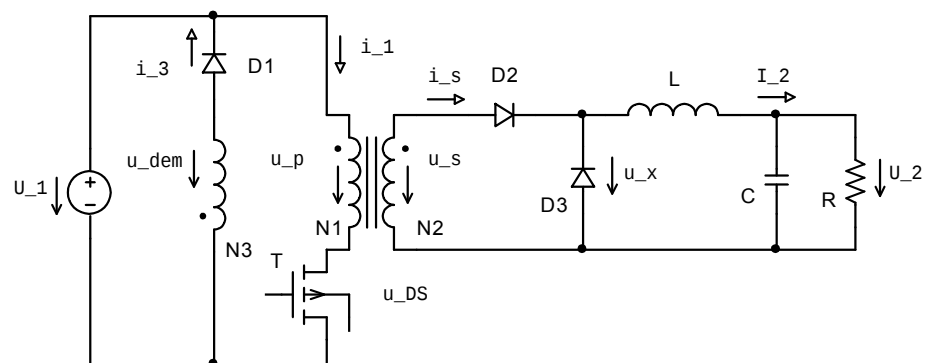
2.3.2 Propustný měnič

Propustný měnič na Obr. 2.3.3 je obdobou snižujícího měniče. Impulsní transformátor plní funkci galvanického oddělení. Propustné měniče pracují nejčastěji na konstantním kmitočtu. Výstupní napětí může dosahovat obou polarit. Problém nastává v transformátoru, kde zůstává nahromaděná energie. Proto je nutné zajistit demagnetizaci jádra transformátoru, aby nedošlo k přesycení jádra v dalším intervalu t_a . Pro úplnou demagnetizaci musí platit podmínka $t_{\text{demag.}} < t_b$ [1]. Propustné měniče se používají do výkonu cca 100 W.

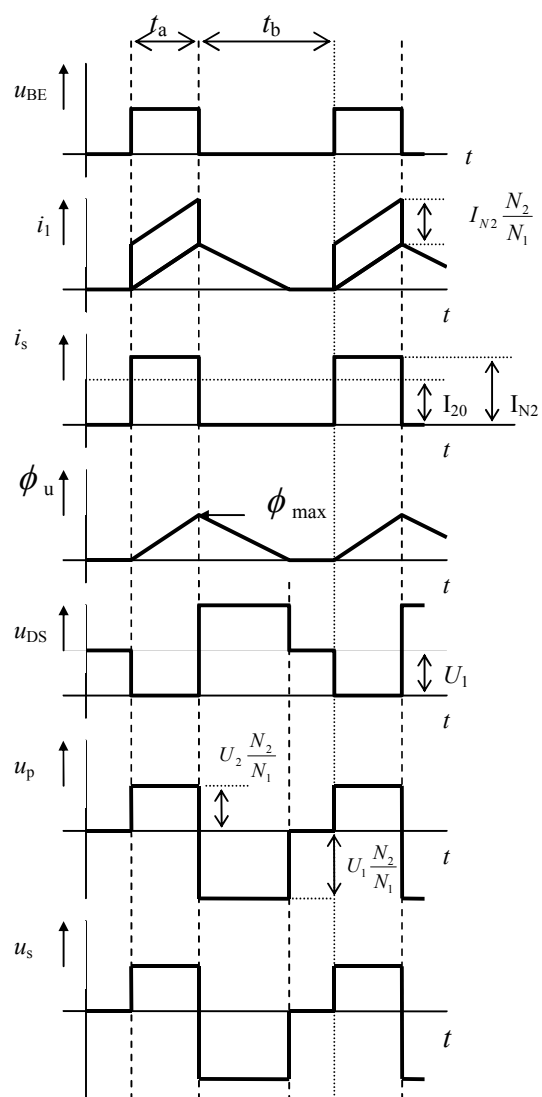
Funkce propustného měniče

Předpokládáme, že tlumivka bude mít dostatečně velkou indukčnost, aby byl výstupní proud I_2 konstantní. Současně tak bude I_2 roven střední hodnotě proudu i_s . Touto podmínkou zařídíme, že proud I_2 bude mít obdélníkový průběh [1]. Pokud je tranzistor T sepnut, impulsní transformátor předává energii přímo do zátěže po dobu intervalu t_a . Zároveň dochází k hromadění energie v jádru. Tuto nahromaděnou energii musíme z jádra odebrat po dobu t_b , jinak dojde v dalších periodách k přesycení jádra transformátoru. energii z jádra můžeme dostat např. demagnetizačním vinutím, které je připojeno paralelně ke zdroji přes diodu D_1 . Demagnetizační vinutí N_3 má stejný počet závitů jako primární vinutí, jenže s opačnou orientací navinutí.

Demagnetizovat jádro můžeme také napětíovou referenční diodou. Při demagnetování se energie v této diodě mění na teplo.



Obr. 2.3.3 Schéma propustného měniče [1]



Obr. 2.3.4 Průběhy veličin na propustném měniči

Kmitočet i $\delta_{\max}$ se volí dle materiálu jádra transformátoru a dalších parametrů řádově 10 kHz-1 MHz.

Ze zadané frekvence spínání lze vypočítat periodu T a dobu t_1 :

$$T = \frac{1}{f}. \quad (2.53)$$

$$t_1 = \delta_{\max} T. \quad (2.54)$$

Počet závitů v primárním vinutí můžeme vypočítat ze vzorce [1]:

$$N_1 = \frac{U_1 \delta_{\max}}{B_{\max} S}. \quad (2.55)$$

Počet závitů v sekundárním vinutí [1]

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 \delta_{\max}. \quad (2.56)$$

Počet závitů pomocného demagnetizačního vinutí se volí shodný s primárním, protože se toto vinutí navíjí společně.

$$N_3 = N_1. \quad (2.57)$$

Maximální proud primárním je roven součtu magnetizačního proudu a proudu transformovaného ze zátěže [1]:

$$I_{1\max} = I_{\mu\max} + I_2 \frac{N_2}{N_1}. \quad (2.58)$$

Magnetizační proud můžeme vyjádřit vztahem[1]:

$$I_{\mu\max} = \frac{U_1 \delta_{\max}}{L_1}. \quad (2.59)$$

Indukčnost L_1 vinutí lze vypočítat podle vztahu (2.30).

Aby nedošlo k přesycení jádra, je nutno stanovit maximální činitel plnění:

$$\delta_{\max} = \frac{t_1}{t_1 + t_{\text{demag}}}. \quad (2.60)$$

Doba demagnetizace je dána vztahem [1]:

$$t_{demag} = \frac{N_3}{N_1} t_1 = t_1. \quad (2.61)$$

Z předcházejících dvou vztahů plyne, že maximální činitel plnění je 0,5.
Maximální výstupní napětí je střední hodnota U_2 :

$$U_{2max} = U_s \delta_{max}. \quad (2.62)$$

Dimenzování tranzistoru T

Z funkce měniče lze odvodit kritické parametry tranzistoru.

Pokud je splněna podmínka $N_1=N_3$ potom maximální napětí na tranzistoru je:

$$U_{DSmax} = 2U_1. \quad (2.63)$$

a kolektorový proud:

$$I_{Cmax} = I_{1max}. \quad (2.64)$$

Dimenzování diod [1]

Z poznatků lze odvodit proud a závěrné napětí na diodách propustného měniče:

Dioda D_3

Maximální proud na diodě D_3 je roven výstupnímu napětí:

$$I_{D3max} = I_2. \quad (2.65)$$

Střední proud:

$$I_{D3str} = I_2(1 - \delta). \quad (2.66)$$

Efektivní proud diodou D_3 :

$$I_{D3ef} = I_2 \sqrt{1 - \delta}. \quad (2.67)$$

Závěrné napětí diody lze vypočítat podle:

$$U_{D3max} = \frac{N_2}{N_1} U_1. \quad (2.68)$$

Dioda D_1

Maximální proud diody můžeme určit:

$$I_{D1\max} = I_3 = \frac{N_1}{N_3} I_{\mu\max} = \frac{N_1}{N_3} \frac{U_1}{L_1} t_{\max}. \quad (2.69)$$

Střední proud:

$$I_{D1stř} = I_{3stř} = \frac{I_3}{2} \delta. \quad (2.70)$$

Efektivní proud:

$$I_{D1ef} = I_{3ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_{demag}} \left(I_3 \frac{t}{t_{demag}} \right)^2 dt} = \frac{I_3}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{t_{demag}}{t_a + t_b}}. \quad (2.71)$$

A závěrné napětí je vyjádřeno vztahem:

$$U_{D1\max} = U_1 \left(\frac{N_1 + N_3}{N_1} \right). \quad (2.72)$$

Dioda D_2

Maximální proud diody D_2 je roven výstupnímu proudu:

$$I_{D2\max} = I_2. \quad (2.73)$$

Střední hodnota proudu:

$$I_{D2stř} = I_2 \delta. \quad (2.74)$$

Efektivní hodnota procházejícího proudu:

$$I_{D2ef} = I_2 \sqrt{\delta}. \quad (2.75)$$

Maximální závěrné napětí diody D_2 :

$$U_{D2\max} = \frac{N_2}{N_3} U_1. \quad (2.76)$$

2.3.3 Dvojčinný můstkový propustný měnič

Tento měnič je schopen přenášet poměrně velké výkony. U měničů s demagnetizačním vinutím se objevují velké napěťové špičky. Dvojčinný propustný měnič toto demagnetizační vinutí nemá, neuplatňuje se tedy rozptylová indukčnost a napěťové špičky nevznikají [1]. Výstupní usměrňovač je tvořen můstkovým usměrňovačem.

Měnič zapojený naprázdno

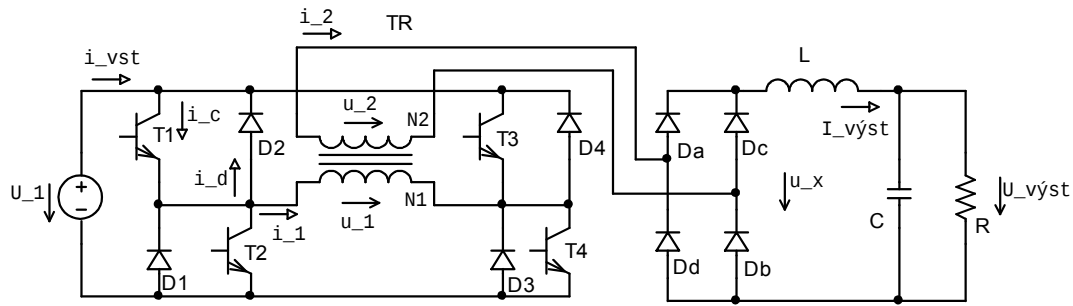
Pokud není měnič zatížen je výstupní proud nulový a na vinutí N_2 je nulové napětí.

Dobu t_1 (viz Obr. 2.3.6) určuje sepnutí tranzistorů T_2 , T_3 (viz Obr. 2.3.5). Magnetizační proud a indukční tok lineárně roste po dobu t_1 . Maximální hodnoty tedy dosáhne na konci časového intervalu t_1 .

Při demagnetizaci začnou propouštět diody D_1 a D_2 díky proudové setrvačnosti indukčnosti L_1 . Na L_1 bude napětí $-U_1$. Tento děj trvá polovinu periody. V druhé polovině periody nastává identický děj jenže s opačnou polaritou [1].

Demagnetizační proud klesá se stejnou strmostí jako při jeho růstu. Můžeme tedy psát:

$$t_1 = t_{demag} \quad (2.77)$$



Obr. 2.3.5 Schéma zapojení dvojčinného můstkového měniče

Měnič při zátěži

V intervalu kdy není sepnut ani jeden tranzistor transformátor nepřenáší proud. V tomto případě se tlumivka L snaží udržet procházející proud a stává se zdrojem výstupního proudu. Greatzův můstek plní funkci nulové diody.

Dvojčinný měnič dosahuje účinnosti vyšších než 80 %. Díky jejich velké účinnosti a možném využití výkonu vyšších než 300 W se tyto typy zdrojů využívají u výpočetní techniky. V primárním vynutí není stejnosměrná složka proudu. Nevýhodou je několikanásobné zvýšení počtu potřebných tranzistorů a tím i náročnější zapojení obvodu.

Nejvyšší napětí na výstupu vypočteme podle vzorce[1]:

$$U_{výst\ max} = U_1 \frac{N_2}{N_1}. \quad (2.78)$$

Dále musí platit[1]:

$$N_1 \frac{\phi_{\mu\ max}}{2} = N_1 B_{\max} S = \frac{I_{\mu\ max}}{2} L_1. \quad (2.79)$$

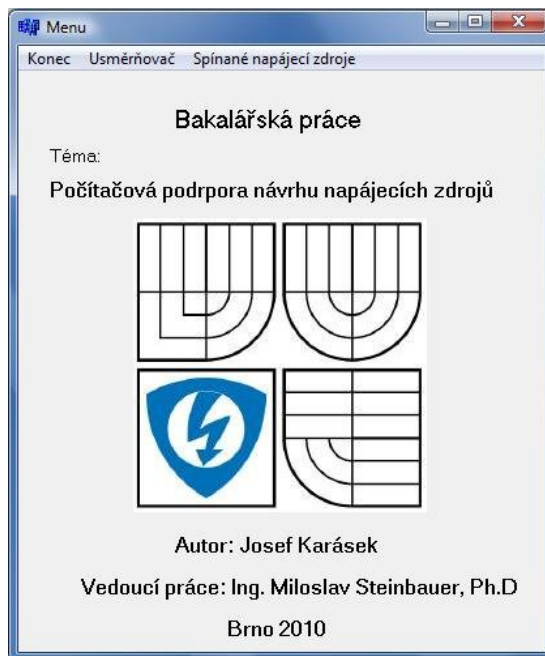
Pro výpočet závitů využijeme vztah odvozený v [1]:

$$N_1 = \frac{U_1 T}{4 B_{\max} S}. \quad (2.80)$$

U dvojčinného měniče lze možno přenášet transformátorem větší výkon, protože je potřeba pouze poloviční počet závitů ve vinutí. Vinutí bude mít poloviční velikost, tudíž průřez vodiče můžeme zvětšit. S rostoucím průřezem vodiče můžeme zvyšovat proudovou hustotu. Nevýhodou je zvýšení hysterezích ztrát. Dvojčinný měnič potřebuje složitější řídicí a silové obvody. Dále musíme brát v úvahu dobu, která je mezi přepínáním větví, aby nedošlo k sepnutí obou větví najednou. Tento interval se nazývá *dead time*. Dvojčinný měnič lze vytvořit spojením dvou jednočinných měničů zapojených protitaktně.[1]

3 POPIS PROGRAMU

Získané poznatky o spínaných zdrojích byly využity při tvorbě programu. Hlavní částí programu je dialogové okno s názvem „Menu“ (viz Obr. 2.3.1), ve kterém jsou tři záložky. První záložka slouží k ukončení programu. Druhá zahrnuje výpočet jednocestného dvoucestného a můstkového usměrňovače s filtračním kondenzátorem. V záložce „Spínané napájecí zdroje“ je možno vybrat blokující měnič s transformátorem nebo propustný měnič s transformátorem. U blokujícího a propustného měniče můžeme parametry jádra zadávat přímo do dialogového okna, nebo můžeme využít otevřenou databázi jader transformátorů.



Obr. 2.3.1 Hlavní okno programu

3.1 Blokující měnič

Na obrázku (viz Obr. 3.1.1) je dialogové okno propustného měniče. Vztahy, které jsou využity pro výpočet blokujícího měniče jsou uvedeny v kap. 2.3.1. Kliknutím na záložku menu se dostaneme do hlavního dialogového okna.

V záložce „Nástroje“ lze volat funkce:

- „Parametry transformátoru“ - Po kliknutí se objeví okno pro výběr jádra (viz. Obr. 3.3.1) transformátoru
- „Počítej“ - pokud jsou dobře zadány vstupní proměnné vykoná se výpočet.
- „Vykresli průběh“ - Po kliknutí vykreslí průběhy (viz. Obr. 3.1.2).

Výpočet blokujícího měniče Unit 6

Menu Nástroje

Vstupní napětí:

Napájecí napětí_min U_{1min} : 230 [V]
 Napájecí napětí_max U_{1max} : 230 [V]

Výstupní parametry:

Výstupní napětí U_2 : 24 [V]
 Přenášený výkon P : 10 [W]
 Max. zvlnění výstupního napětí U_{zv} : 0,1 [V]
 Max. činitel plnění δ_{max} : 0,3 [-]

Jádro transformátoru:

Efektivní délka siločáry L_e : 71 [mm]
 Max. intenzita mag. pole H_{max} : 15 [A/m]
 Konstanta indukčnosti A_L : 2150 [nH]
 Vzduchová mezera g : ne [mm]

Počet závitů:

Počet závitů primáru N_p : - [-]
 Počet závitů sekundáru N_s : - [-]

Dimenzování polovodičů:

Min. závěrné napětí transilu U_t : - [V]
 Min. potřebné závěrné napětí diody U_{BR} : - [V]
 Min. potřebné kolektorové napětí spínače U_{ds} : - [V]
 Min. potřebná kapacita kondenzátoru C : - [uF]

Vypočtené parametry:

Perioda kmitu T : - [us]
 Kmitočet měniče f_{min} : - [Hz]
 Max. proud primáru I_{2max} : - [A]
 Max. proud sekundáru I_{1max} : - [A]

Obr. Blokující měnič

Obr. 3.1.1 Okno návrhu blokujícího měniče

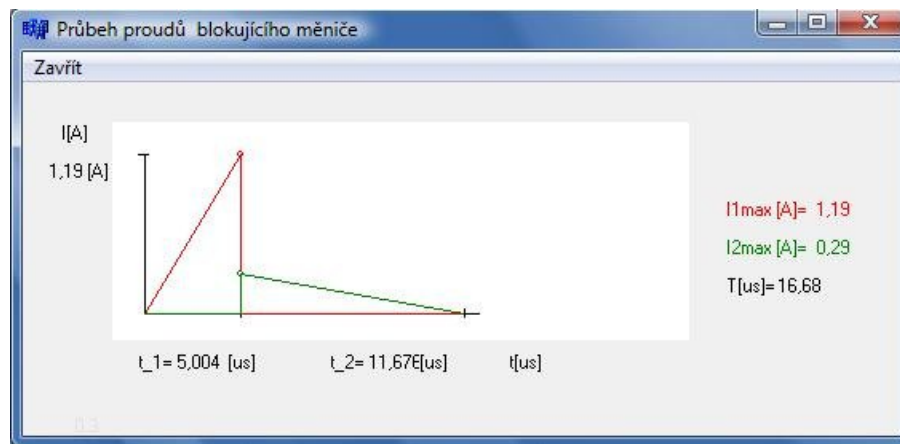
Vstupní parametry:

U_{1min}	minimální vstupní napětí
U_{1max}	maximální vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
P	přenášený výkon
U_{zv}	zvlnění výstupního napětí
δ_{max}	maximální činitel plnění
L_e	efektivní délka siločar
H_{max}	maximální intenzita mag. pole
A_L	konstanta indukčnosti

Výstupní parametry:

N_p	počet závitů primárního vinutí
N_s	počet závitů sekundárního vinutí
U_t	napětí transilu

U_{br}	min. potřebné závěrné napětí diody
U_{ds}	min. potřebné kolektorové napětí tranzistoru
C	filtrační kondenzátor
T	perioda spínání
f_{min}	kmitočet spínání
I_{1max}	maximální proud v primárním vinutí
I_{2max}	max. proud sekundárního vinutí



Obr. 3.1.2 Průběhy proudu blokujícího měniče

3.2 Propustný měnič

Program pro výpočet propustného měniče je obdobný jako pro výpočet blokujícího měniče. Kliknutím na možnost „Blokující měnič“ v záložce „Spínané napájecí zdroje“ otevřeme dialogové okno blokujícího měniče (viz. Obr. 3.2.1). Záložka nástroje obsahuje jednotlivé funkce. Opět je možné vybírat ze seznamu jader transformátorů a vykreslovat průběhy (viz. Obr. 3.2.2). Kliknutím na záložku menu se vrátíme do úvodního dialogového okna

Vzorce, které byli použity v programu pro výpočet propustného měniče jsou uvedeny v kapitole 2.3.2.

Vstupní parametry:

U_{1min}	minimální vstupní napětí
U_{1max}	maximální vstupní napětí
U_2	výstupní napětí
P	přenášený výkon
U_{zv}	zvlnění výstupního napětí
δ_{max}	maximální činitel plnění
L_e	efektivní délka siločar

$B_{\max}$	maximální magnetická indukce
A_L	konstanta indukčnosti
$f_{\min}$	kmitočet spínání
S	efektivní průřez jádra

Výstupní parametry:

N_p	počet závitů primárního vinutí
N_s	počet závitů sekundárního vinutí
$U_{BR1}, U_{BR2}, U_{BR3}$	min. potřebné závěrné napětí diody
$I_{D1\max}, I_{D1\max}, I_{D1\max}$	max. proud protékající diodami
U_{DS}	min. potřebné kolektorové napětí tranzistoru
C	filtrační kondenzátor
T	perioda spínání
$I_{1\max}$	maximální proud v primárním vinutí
$I_{2\max}$	max. proud sekundárního vinutí

Výpočet propustného měniče Unit 5

Menu Nástroje

Vstupní napětí:

Napájecí napětí_min U1min: 230 [V]

Napájecí napětí_max U1max: 230 [V]

Výstupní parametry:

Výstupní napětí U2: 24 [V]

Přenášený výkon P: 10 [W]

Max. zvlhnutí výstupního napětí Uzv: 0,1 [V]

Max. činitel plnění dmax: 0,5 [-]

Kmitočet měniče fmin: 20 [kHz]

Jádro transformátoru:

Průřez jádra S: 76 [mm²]

Max. magnetická indukce Bmax: 510 [mT]

Konstanta indukčnosti Al: 2150 [nH]

Vzduchová mezera g: ne [mm]

Počet závitů:

Počet závitů primáru Np: - [-]

Počet závitů sekundáru Ns: - [-]

Dimenzování tranzistoru

Min. potřebné závěrné napětí spínače UBR: - [V]

Maximální proud tranzistorem Icmx: - [A]

Min. potřebná kapacita kondenzátoru C: - [uF]

Dimenzování diod

	D1	D2	D3	
Min. potřebné napětí diody:	-	-	-	[V]
Max proud protékající diodou:	-	-	-	[A]

Vypočtené parametry:

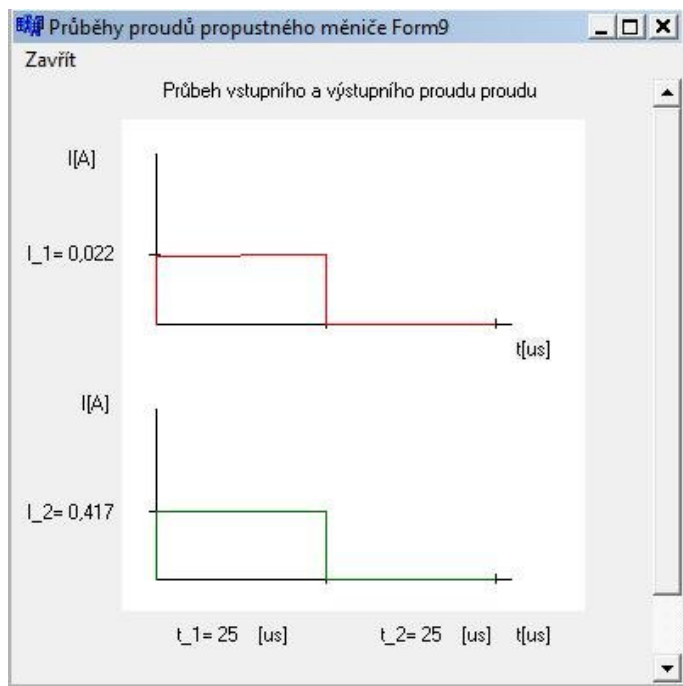
Perioda kmitu T: - [us]

Max. proud primáru I2max: - [A]

Max. proud sekundáru I1max: - [A]

Obr. Schéma propustného měniče

Obr. 3.2.1 Okno návrhu propustného měniče



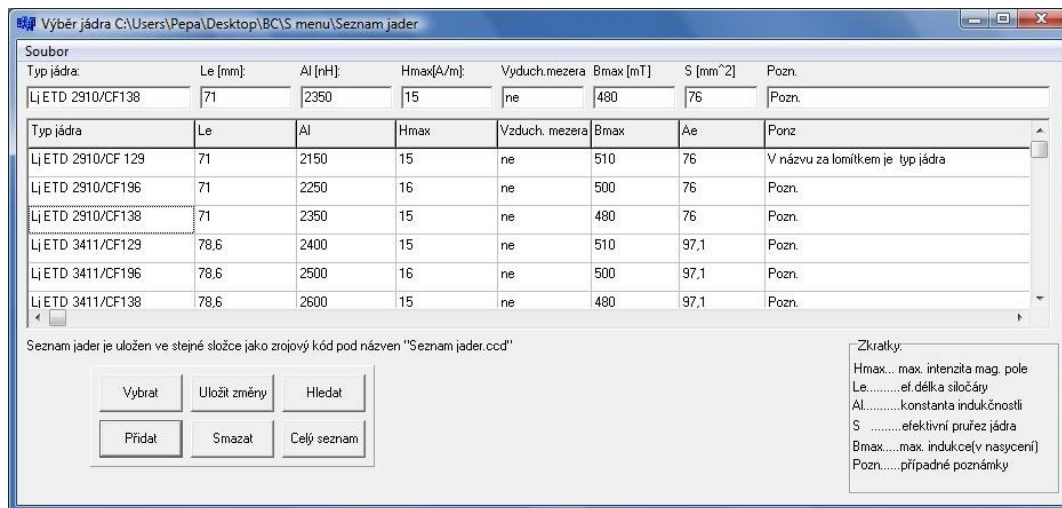
Obr. 3.2.2 Průběhy proudu propustného měniče

3.3 Databáze jader

Do databáze můžeme přidávat další typy jader a je možné tyto záznamy také měnit popřípadě je mazat. Výběr uskutečníme kliknutím na daný typ jádra a potvrdíme tlačítkem „Vybrat“. Tím se data přenesou přímo do zadávacího okna pro výpočet měniče.

Údaje uvedené v databázi:

- Typ jádra
- Efektivní délka siločar
- Konstanta indukčnosti
- Max. intenzita magnetického pole
- Efektivní průřez jádra
- Maximální indukce
- Případné poznámky



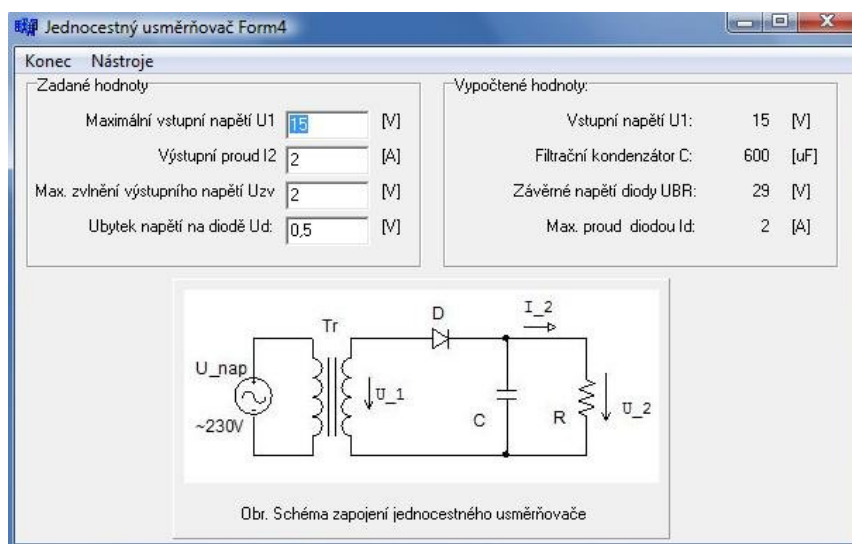
Obr. 3.3.1 Databáze jader

3.4 Usměrňovače

Vzorce použité pro návrh usměrňovačů jsou uvedeny v kapitole 1.2.

V hlavním okně programu v záložce usměrňovače lze vybrat z možností:

- Jednocestný usměrňovač (viz Obr. 3.4.1)
- Dvoucestný usměrňovač (viz Obr. 3.4.2)
- Můstkový usměrňovač (viz Obr. 3.4.3)



Obr. 3.4.1 Okno návrhu jednocestného usměrňovače

Dvoucestný usměrňovač Form7

Konec Nástroje

Zadané hodnoty:

Maximální vstupní napětí U_1 : [V]

Výstupní proud I_2 : [A]

Max. zvlnění výstupního napětí U_{zv} : [V]

Ubytek napětí na diodě U_d : [V]

Vypočtené hodnoty:

Výstupní napětí U_2 : · [V]

Filtreační kondenzátor C : · [uF]

Závěrné napětí diody U_{BR} : · [V]

Max. proud diodou I_d : · [A]

Obr. Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače

Obr. 3.4.2 Okno návrhu dvoucestného usměrňovače

Můstkový usměrňovač Form8

Konec Nástroje

Zadané hodnoty:

Maximální vstupní napětí U_1 : [V]

Výstupní proud I_2 : [A]

Max. zvlnění výstupního napětí U_{zv} : [V]

Ubytek napětí na diodě U_d : [V]

Vypočtené hodnoty:

Výstupní napětí U_2 : · [V]

Filtreační kondenzátor C : · [uF]

Závěrné napětí diody U_{KA} : · [V]

Max. proud diodou I_d : · [A]

Obr. Schéma zapojení můstkového usměrňovače

Obr. 3.4.3 Okno návrhu můstkového usměrňovače

4 ZÁVĚR

Spínané zdroje mají vyšší účinnost než lineární napájecí zdroje, proto se hojně využívají v různé elektronice. Má práce se zabývá vlastnostmi nejpoužívanějších zapojení spínaných zdrojů a způsobem návrhu jejich klíčových součástí – spínače, transformátoru, usměrňovače s filtrem. Zadáním práce nebylo řešení regulačních částí zdrojů.

Získané poznatky o návrhu zdrojů byly implementovány do programu, který byl vytvořen v prostředí Borland C++ Builder 6. Program slouží k podpoře návrhu blokujiícího a propustného spínaného zdroje s transformátorem. Program obsahuje otevřenou databázi jader transformátorů pro spínané zdroje, jejichž seznam se ukládá do souboru s příponou *.ccd*. U každého typu zdroje je uvedeno schéma zapojení, lze zobrazit průběhy napětí a proudů primární a sekundární strany těchto zdrojů. Doplnující funkcí je návrh usměrňovače a filtru pro zdroje napájené z klasického síťového transformátoru. Jsou zahrnuty varianty s jednocestným, dvojcestným a můstkovým usměrňovačem.

LITERATURA

- [1] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. *Napájení elektronických zařízení*. Brno: FEI VUT v Brně, 1999. ISBN 80-214-1090-6
- [2] Přednášky: Napájení elektronických zařízení Ing. J. Šebesty, Ph.D.[online]. Brno: VUTBR 2004 [cit. 11. 12. 2009]. URL:
<https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml?gm=gm_detail_predmetu&apid=86282>.
- [3] HUSÁK, M. *Návrh napájecích zdrojů pro elektroniku*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03398-8.
- [4] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje III*. Praha: BEN-technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-56-2.
- [5] FAKTOR, Z. *Transformátory a tlumivky pro spínané zdroje*. Praha: BEN-technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-91-0.
- [6] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje I*. Praha: BEN-technická literatura, 1997. ISBN 80-86056-02-3.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

R_p, R_s	[Ω]	odpor primárního, sekundárního vinutí.
I_{ef}	[A]	efektivní proud
U_{ef}	[V]	efektivní napětí
B	[T]	magnetická indukce
H	[A/m]	intenzita magnetického pole
Λ, A_L	[nH]	magnetická vodivost jádra
S	[mm ²]	efektivní průřez jádra
U_1, U_2	[V]	vstupní, výstupní napětí
N_1, N_2	[-]	počet závitů primárního, sekundárního vinutí
μ_r	[H/m]	reálná permeabilita
μ_0	[H/m]	permeabilita vakua
l	[mm]	střední délka siločar
T	[s]	perioda
L	[H]	indukčnost
i_μ	[A]	primární proud při vinutí naprázdno
$S_{\epsilon po}$	[%]	kontrola činitele plnění okna
S_{N1}, S_{Nl}	[mm ²]	průřez primárního, sekundárního vinutí
S_j	[mm ²]	průřez okna jádra transformátoru
I_0	[A]	ustálený proud
δ	[-]	činitel plnění
I_D	[A]	proud protékající diodou
U_D	[V]	závěrné napětí diody
t_{demag}	[s]	doba demagnetizace jádra
I_3	[A]	proud demagnetizačním vedením
I_μ	[A]	demagnetizační proud
U_{DS}	[V]	napětí na transformátoru
U_t	[V]	napětí transilu
L_e	[mm]	efektivní délka siločar
H_{max}	[A/m]	max intenzita magnetického pole
R_p, R_s	[Ω]	odpor primárního, sekundárního vinutí

L_e	efektivní délka siločar
P_h	hysterezní ztráty
P_R	jouleovy ztráty
P_V	ztráty výřivými proudy
M, n	počet plechů
R_j	měrný odpor transformátoru
a	délka strany středního sloupku jádře
t_j	tloušťka jádra
S_{Fe}	průřez jádra
d_1, d_2	průměr vodičů primárního a sekundárního vinutí
S_{L1}, S_{L2}	plocha sekundárního a primárního vinutí
S_{ok}	průřez okna transformátoru
P_{Fe}	utráty v železe
η	účinnost
t_p, p	tloušťka plechu
t_1, t_2	doba intervalu
I_c	kolektorový proud tranzistoru
U_{BR}	závěrné napětí diody
U_{dem}	napětí na demagnetizačním vinutí
u_{BE}	řídící napětí tranzistoru
ϕ	magnetická vodivost

SEZNAM PŘÍLOH

A	Parametry vodičů pro návrh transformátoru
----------	--

54

A PARAMETRY VODIČŮ PRO NÁVRH TRANSFORMÁTORU

Průměr vodiče [mm]	Průřez vodiče [mm ²]	Měrný odpor vodiče [mΩ/m]	Vnější průměr vodiče s izolací [mm]		Počet závitů na 1 cm ² při strojním vinutí		Proudové zatížení pro zvolnou proudovou hustotu [mA]		
			normální	zesílená	normální	zesílená	2 A/mm ²	3 A/mm ²	4 A/mm ²
0,100	0,0079	2270	0,121	0,129	6000	5300	16	24	32
0,112	0,0098	1810	0,141	0,143	5000	4900	20	30	40
0,125	0,0122	1460	0,154	0,159	3800	3500	24	36	48
0,132	0,0137	1310	0,161	0,166	3500	3300	27	40	54
0,140	0,0156	1100	0,164	0,176	3200	2950	31	46	62
0,150	0,0177	989	0,179	0,187	2800	2550	35	53	71
0,160	0,0201	845	0,189	0,199	2500	2250	40	60	80
0,170	0,0226	787	0,200	0,210	2250	2000	45	68	90
0,180	0,0254	702	0,210	0,222	2000	1800	51	76	102
0,190	0,0284	630	0,220	0,233	1800	1600	57	85	114
0,200	0,0314	568	0,230	0,246	1650	1450	63	94	126
0,212	0,0353	506	0,247	0,259	1500	1350	71	106	142
0,224	0,0392	453	0,259	0,272	1350	1160	78	118	156
0,236	0,0437	408	0,271	0,287	1250	1110	87	130	174
0,250	0,0491	364	0,285	0,301	1100	990	98	148	196
0,265	0,0550	324	0,303	0,320	975	870	110	166	220
0,280	0,0610	311	0,315	0,330	870	790	116	175	232
0,290	0,0616	290	0,328	0,347	810	750	123	185	246
0,300	0,0707	253	0,343	0,362	770	690	141	212	282
0,315	0,0776	229	0,360	0,380	690	620	155	233	310
0,335	0,0880	202	0,380	0,404	625	550	176	264	352
0,355	0,0980	180	0,395	0,414	520	480	200	294	410
0,375	0,1000	168	0,415	0,438	490	440	225	325	470
0,400	0,1257	142	0,442	0,464	450	410	250	360	540
0,425	0,1418	126	0,447	0,495	400	370	284	424	568
0,450	0,1590	112	0,502	0,520	360	330	320	480	640
0,475	0,1768	101	0,527	0,550	325	300	353	530	706
0,500	0,1963	91	0,552	0,570	300	280	392	588	784
0,530	0,2200	81	0,590	0,605	265	250	440	660	880
0,560	0,2463	72	0,620	0,632	240	230	493	740	986
0,600	0,2827	63	0,660	0,674	210	200	565	850	1130
0,630	0,3140	57	0,690	0,706	190	180	630	940	1260
0,670	0,3535	51	0,725	0,750	170	160	710	1060	1410
0,710	0,3962	45	0,770	0,790	155	150	790	1190	1580
0,750	0,4418	40	0,809	0,840	140	135	880	1325	1770
0,800	0,5027	35	0,861	0,885	120	117	1000	1500	2000
0,850	0,5675	31	0,913	0,937	110	107	1135	1700	2270
0,900	0,6362	28	0,965	0,990	100	97	1270	1910	2550
0,950	0,7088	25	1,017	1,041	90	87	1420	2120	2840
1,000	0,7856	23	1,068	1,093	83	80	1570	2360	3140
1,060	0,8796	20	1,115	1,180	74	71	1700	2640	3520
1,120	0,9817	18	1,215	1,240	65	62	1965	2950	3930
1,180	1,0917	16	1,275	1,300	56	53	2180	3280	4370
1,250	1,2250	14,5	1,345	1,370	50	48	2445	3670	4890
1,320	1,3665	13	1,415	1,450	46	44	2730	4100	5460
1,400	1,5394	11,6	1,495	1,520	42	40	3000	4500	6000
1,500	1,7671	10,1	1,595	1,620	37	35	3600	5400	7200
1,600	2,0106	8,8	1,695	1,730	31	29	4000	6000	8000
1,700	2,2698	7,7	1,800	1,825	29	28	4550	6800	9100
1,800	2,5445	6,9	1,900	1,925	26	25	5080	7600	10200
1,900	2,8353	6,2	2,000	2,025	23	22	5680	8500	11300
2,000	3,1416	5,9	2,100	2,125	21	20	6280	9400	12600